



QIC2016

## 2.º ENCONTRO NACIONAL SOBRE QUALIDADE E INOVAÇÃO NA CONSTRUÇÃO

Lisboa • LNEC • 21 a 23 de novembro de 2016

### **ARGAMASSAS COM INTRODUÇÃO DE RESÍDUOS ANÁLISE DO SEU COMPORTAMENTO MECÂNICO**

**Isabel Torres**

*Departamento de Engenharia Civil / ADAI/LAETA – Ass. para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial*

*Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra*

*3030-788 Coimbra, Portugal*

*E-mail: itorres@dec.uc.pt*

**Gina Matias**

*ITeCons – Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências da Construção*

*Rua Pedro Hispano, s/n, 3030-289 Coimbra, Portugal*

*e-mail: ginamatias@itecons.uc.pt*

**Paulina Faria**

*CERIS e Departamento de Engenharia Civil*

*Universidade Nova de Lisboa*

*2829-516 Caparica, Portugal*

*e-mail: paulina.faria@fct.unl.pt*

### **Resumo**

A problemática da disposição de resíduos gerados em diferentes atividades tem-se agravado muito nas últimas décadas. Nesse sentido, a sua reutilização traz um inquestionável benefício, pela minimização do problema ambiental que representa o depósito desses materiais em aterro.

Uma das formas de garantir a sustentabilidade das atividades desenvolvidas pelo sector da construção poderá passar pela incorporação de resíduos de outras indústrias nos materiais utilizados.

A Universidade de Coimbra, em colaboração com o ITeCons e com a Universidade Nova de Lisboa tem desenvolvido, nos últimos anos, diversos estudos nos quais tem analisado o comportamento de argamassas de revestimento para edifícios novos e para reabilitação, com introdução de resíduos com diversas origens. Neste artigo é apresentada uma análise comparativa do comportamento mecânico de diversos tipos de argamassas estudados.

**Palavras-chave:** *Argamassas de revestimento, Aproveitamento de resíduos, Comportamento mecânico*

## Introdução

A indústria da construção continua a ser uma das principais responsáveis pela produção de resíduos. A prática mais corrente de eliminação destes resíduos é a deposição em aterro, que consiste em enterrar os resíduos no solo. Embora exista alguma legislação e requisitos técnicos estritos que visam evitar, ou reduzir ao máximo, os impactos negativos nas águas de superfície, nas águas subterrâneas, no solo, na atmosfera e na saúde humana, a deposição em aterro continua a ser a prática menos sustentável em termos ambientais, devendo, por isso, ser evitada.

É então cada vez mais importante encontrar alternativas a esta solução. Uma das possibilidades é a integração destes resíduos em novos materiais de construção. Com este reaproveitamento consegue-se, não só, a redução da deposição em aterro, como também a redução da incorporação de outras matérias-primas, com a consequente redução de consumos de energia e água e a redução de emissões poluentes.

Tem-se verificado, recentemente, um grande investimento da comunidade científica no desenvolvimento de materiais de construção com a incorporação de subprodutos. No caso do betão, o material mais utilizado na indústria da construção a nível mundial, existe já uma elevada quantidade de estudos sobre a introdução de resíduos, quer em substituição parcial do ligante, quer do agregado (Luis, W.; 2013) (Vieira, T.; 2013). Existem também já alguns estudos, a nível nacional e internacional, associados à introdução de subprodutos na composição de argamassas de revestimento (Hwee, K., Du, H.; 2013) (Frías, M. et al.; 2012) (Ozkan, O., Yuksel, I.; 2008).

A integração de resíduos da indústria na composição de argamassas apresenta uma dupla vantagem:

- reutilização de material desperdiçado, proveniente da indústria, com consequente redução do volume de material depositado em aterro;
- redução da emissão de poluentes da produção de ligantes e/ou extração de rochas e areias.

Se, com esta incorporação de resíduos, for possível conseguir-se melhorar as propriedades das referidas argamassas, as vantagens obtidas serão ainda maiores.

Tendo em vista todas as vantagens apontadas, desde de 2008 têm sido desenvolvidos diversos estudos sobre a incorporação de resíduos, com diversas origens, em argamassas de cal aérea, cal hidráulica e cimento. Os estudos têm sido desenvolvidos no âmbito de uma colaboração entre a Universidade de Coimbra, a Universidade Nova de Lisboa e o ITeCons.

É do conhecimento geral que, na antiguidade, e na ausência de pozolanas naturais, os resíduos de cerâmica eram introduzidos em argamassas de cal aérea, conferindo-lhes assim alguma hidraulicidade e maior durabilidade. Atualmente sabe-se também, como já referido, que esta incorporação permite valorizar os resíduos do ponto de vista económico e ambiental, promovendo o conceito de sustentabilidade pela diminuição da quantidade de material depositado em aterro. A introdução deste tipo de resíduos nas argamassas pode fazer-se por adição a formulações de referência, na prática substituindo parcialmente o agregado ou substituindo parcialmente o ligante, e vai conduzir à diminuição de consumo (e extração) de areia e rocha e a uma diminuição de consumo (e de energia no fabrico) de ligante.

Os primeiros estudos desenvolvidos consistiram na introdução de resíduos de cerâmica de barro vermelho em argamassas de cal aérea e destinavam-se, essencialmente, ao desenvolvimento de argamassas para reabilitação de edifícios antigos. Posteriormente, alargou-se este estudo a argamassas de cal hidráulica natural. Quanto aos resíduos utilizados, começou por recorrer-se a cerâmica de barro vermelho, nomeadamente resíduos de tijolo, telhas e vasos decorativos, tendo sido, posteriormente, analisada a incorporação de resíduos de cerâmica branca resultantes da produção de faianças e porcelanas.

Numa tentativa de melhorar as propriedades das argamassas, procedeu-se também à caracterização de argamassas com incorporação de casca e palha de arroz, um resíduo abundante na zona centro do país e na bacia do Sado, com características muito particulares no que respeita ao comportamento térmico e acústico. Nestes casos, uma vez que não se pretende estudar, exclusivamente, argamassas destinadas à reabilitação de edifícios antigos, foram analisadas composições com cimento como ligante.

A investigação continua em desenvolvimento, não só com a utilização dos resíduos já indicados, mas também com o aproveitamento de fibras de acácia e, mais recentemente, de resíduos de casca do ovo.

Neste artigo são apresentados os resultados obtidos para as propriedades mecânicas de algumas das argamassas estudadas.

## Argamassas analisadas

Esta investigação iniciou-se com o estudo de argamassas de cal aérea com incorporação de resíduos de cerâmica vermelha, tendo o pioneiro sido desenvolvido por Matias (Matias; 2008). Neste, analisou-se o comportamento de uma argamassa de cal aérea com introdução de resíduos de tijolo. Este primeiro trabalho permitiu avaliar o interesse de prosseguir com a investigação. Os resultados obtidos foram encorajadores, e, por isso, foram levados a cabo, posteriormente, novos trabalhos com a incorporação de resíduos semelhantes em argamassas de cal aérea e cal hidráulica natural.

Procedeu-se à recolha de resíduos de diversas cerâmicas da zona Centro, nomeadamente resíduos de tijolo, de telha e de vasos decorativos. Todos estes resíduos foram moídos em granulometria semelhante à da areia, caracterizados, e introduzidos em argamassas com várias composições.

Os trabalhos desenvolvidos por Duarte (Duarte; 2011) e Ferreira (Ferreira; 2011) incluíram a caracterização de argamassas de cal aérea com traço volumétrico 1:3, com substituição de parte do agregado por resíduos de tijolos, telhas e vasos. Além da argamassa de referência, foram produzidas argamassas com percentagens de substituição de agregado por resíduos de 20% e 40%, em volume.

Seguidamente, Tomás (Tomás; 2012) e Silva (Silva; 2012) caracterizaram argamassas com os mesmos constituintes e traços, diferindo das anteriores apenas na dimensão das partículas de cerâmica. Neste caso pretendeu-se analisar se a introdução de pó de cerâmica em substituição do ligante teria grande influência na melhoria das propriedades das argamassas e se o dispêndio de energia adicional para separação granulométrica das partículas compensaria a eventual melhoria das características. Com esse objetivo em mente foi introduzido apenas o pó do resíduo de cerâmica (partículas com dimensão inferior a 0,075 mm) em substituição parcial de ligante (nas percentagens de 10 % e 20 % do seu volume) em metade das argamassas, e na outra metade foram introduzidas as partículas de maiores dimensões dos resíduos (entre 0,075 mm e 4,75 mm) em substituição parcial do agregado (nas percentagens de 20 % e 40 % do respetivo volume). Após análise dos resultados obtidos, concluiu-se que as melhorias de comportamento das argamassas resultante da introdução de frações separadas do resíduo cerâmico não justificavam o dispêndio de energia adicional para a sua separação. Por esta razão, nos estudos que se seguiram, a separação do resíduo em frações distintas não foi realizada.

Os trabalhos prosseguiram com a análise de argamassas de cal aérea, mas alterando o traço volumétrico para 1:2. Barbosa (Barbosa; 2013) estudou argamassas de cal aérea, mantendo o mesmo tipo de resíduos cerâmicos, e as percentagens de substituição de Duarte e Ferreira.

Na fase seguinte, alterou-se o tipo de ligante, passando a ser utilizada também cal hidráulica natural. Cruz (Cruz; 2012) estudou argamassas de cal hidráulica natural, mantendo o traço e percentagens de substituição de agregado iniciais, de 20% e 40%.

Ainda no que respeita aos resíduos de cerâmica, Raimundo (Raimundo; 2013) desenvolveu estudos em que foi alterado o tipo de resíduo para ladrilho cerâmico de barro vermelho, introduzido em argamassas de cal hidráulica natural ao traço 1:3 e 1:4, com a substituição parcial do agregado (20% e 40%, em volume).

Além dos resíduos de cerâmica vermelha, foram também estudados resíduos de cerâmica branca. Alberto (Alberto; 2014) introduziu resíduos de faiança e porcelana em argamassas de cal hidráulica natural. O traço escolhido foi volumétrico de 1:3 e as percentagens de substituição mantiveram-se as anteriores.

A caracterização das argamassas consistiu na determinação das suas propriedades mais relevantes, nomeadamente: massa volúmica, porosidade aberta, coeficiente de absorção de água, índice de

secagem, coeficiente de permeabilidade ao vapor de água, resistência à tração por flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade.

Concluídos todos estes estudos, foi efetuada uma análise detalhada dos resultados obtidos, com o intuito de prosseguir para estudos mais detalhados das formulações com melhores resultados. Assim Matias (Matias; 2015) selecionou duas argamassas de cal aérea com traço 1:2 e com introdução de resíduos de telha e tijolo e duas argamassas de cal hidráulica com traço 1:4 com introdução de resíduos de telha e tijolo e prosseguiu com estudos que incluíram a resistência adesiva, aos 60 dias e após envelhecimento acelerado, a coesão adesiva, aos 60 dias e após envelhecimento acelerado, a porosimetria, a resistência aos sulfatos e aos cloretos, após 1 ano de cura, e a absorção de água sob baixa pressão, aos 60 dias e após envelhecimento acelerado. As argamassas foram ainda aplicadas na execução de painéis de reboco "in-situ" nos quais se avaliou a trabalhabilidade, a suscetibilidade à retração, uma inspeção visual para avaliação da coloração obtida, determinou-se a resistência adesiva, a coesão superficial e a absorção de água sob baixa pressão.

Relativamente aos estudos realizados com sub-produtos agrícolas, Martins (Martins; 2015) introduziu resíduos de casca e palha de arroz em argamassas de cimento branco, no sentido de melhorar o seu comportamento térmico e que permitisse, eventualmente, a sua classificação como argamassa térmica, segundo os requisitos da norma NP EN 998-1:2013 (IPQ; 2013). Analisou diversos traços e diversas percentagens de introdução dos resíduos. Como neste primeiro estudo este objetivo não foi alcançado, Monteiro (Monteiro; 2015) realizou nova campanha, analisando o comportamento de três tipos de argamassas: uma com incorporação de casca de arroz e duas com palha de arroz. Todas as composições foram preparadas com traço volumétrico 1:2,5 (cimento e agregado/casca ou palha). Como uma das lacunas do estudo de Martins foi a elevada absorção de água das argamassas, foi também introduzido um hidrófugo neste último caso.

Outro tipo de resíduo analisado foi o de fibras de acácia. Pereira (Pereira; 2015) estudou argamassas de cimento e de cal hidráulica ao traço 1:3, com fibras de acácia, em substituição parcial do ligante, nas percentagens de 5% e 10%, em massa.

## **Análise dos resultados obtidos**

Foram preparados diversos tipos de provetes para realizar os diferentes ensaios no estado endurecido. Prepararam-se provetes circulares, para o ensaio de permeabilidade ao vapor de água, e provetes prismáticos, com as dimensões 40x40x160 mm, para a determinação das restantes características. No caso das argamassas com casca/palha de arroz foram ainda preparados provetes com 150x150x50 mm para a determinação do coeficiente de condutibilidade térmica.

Em todos os estudos realizados foram preparadas argamassas adicionais, de referência, sem introdução de resíduos, para análise mais detalhada da influência da presença dos resíduos.

Todos os ensaios foram realizados de acordo com as normas aplicáveis, sempre que possível. Na execução do ensaio para a determinação das resistências mecânicas foi usada a norma EN 1015-11:1999 (CEN; 1999) e para a determinação do módulo de elasticidade foi utilizado o procedimento descrito pela norma NP EN 14146:2006 (IPQ; 2006).

Os períodos de cura foram escolhidos de acordo com o tipo de ligante das argamassas. Para as argamassas de cal aérea o período de cura foi de 60 dias e para as argamassas de cal hidráulica natural e cimento foi de 28 dias.

Apresentam-se no Quadro 1 as composições das diferentes argamassas estudadas de cal aérea, com introdução de resíduos de cerâmica vermelha e traço de 1:3. As percentagens de substituição utilizadas foram as referidas anteriormente - 20% e 40%, para o caso da substituição de parte do agregado, e 10% e 20% nos casos em que foi substituído, parcialmente, o ligante.

Quadro 1: Argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica vermelha

Argamassa	Tipo de resíduo introduzido			Percentagens de substituição (%)	
	Tijolo	Telha	Vaso	Substituição parcial agregado	Substituição parcial do ligante
3A_R	-	-	-	-	-
3A_LB	X			20	-
3A_HB	X			40	-
3A_LT		X		20	-
3A_HT		X		40	-
3A_LP			X	20	-
3A_HP			X	40	-
3A_LGB	X			20*	-
3A_HGB	X			40*	-
3A_LGT		X		20*	-
3A_HGT		X		40*	-
3A_LGP			X	20*	-
3A_HGP			X	40*	-
3A_LDB	X			-	10**
3A_HDB	X			-	20**
3A_LDT		X		-	10**
3A_HDT		X		-	20**
3A_LDP			X	-	10**
3A_HDP			X	-	20**

\* - resíduo de cerâmica com dimensão superior a 0.075mm

\*\* - resíduo de cerâmica com dimensão inferior a 0.075mm

Apresentam-se ainda, no Quadro 2, as composições das diferentes argamassas estudadas com cal hidráulica natural, ao traço 1:3, com introdução de telhas, tijolos e mosaicos de cerâmica de barro vermelho e ainda com introdução de resíduos de cerâmica branca (porcelana e faiança).

Quadro 2: Argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de cerâmica vermelha

Argamassa	Tipo de resíduo introduzido							Percentagem de substituição agregado (%)
	Tijolo	Telha	Vaso	Mosaico	Porcelana vidrada	Faiança vidrada	Faiança não vidrada	
3H_R	-	-	-	-	-	-	-	-
3H_LB	X							20
3H_HB	X							40
3H_LT		X						20
3H_HT		X						40
3H_LP			X					20
3H_HP			X					40
3H_RPF	-	-	-	-	-	-	-	-
3H_LPV					X			20
3H_HPV					X			40
3H_LFV						X		20
3H_HFV						X		40
3H_LFNV							X	20
3H_HFNV							X	40
3H_RM	-	-	-	-	-	-	-	-
3H_LM				X				20
3H_HM				X				40

São apresentados também, no Quadro 3, as composições das diferentes argamassas estudadas com casca e palha de arroz e com fibras de acácia. No primeiro caso, foram analisadas argamassas de cimento branco com diversos traços, e no segundo caso, além de argamassas de cimento, foram também analisadas argamassas de cal hidráulica natural ao traço 1:3, em que foram adicionadas as fibras em percentagens de 5% e 10% da massa do ligante.

Quadro 3: Argamassas de cimento/cal hidráulica natural com introdução de casca/palha de arroz: composições analisadas (proporção volumétrica)

Argamassa	CEM II/A-L 52,5N	CEM II/B-L 32,5N	Casca Arroz	Palha Arroz Grossa	Palha Arroz Fina	Hidrofugante	Areia de Rio
CB_R1	1	-	-	-	-	-	2,1
CB_R2	1	-	-	-	-	-	3,0
CB_ACA_3	1	-	1,7	-	-	-	0,4
CB_ACA_4	1	-	1,8	-	-	-	0,3
CB_ACA_5	1	-	2,0	-	-	-	1,0
CB_APA_G1	1	-	-	1,5	-	-	1,5
CB_APA_G2	1	-	-	1,5	-	-	0,6
C_R	-	1	-	-	-	-	2,5
C_ACA	-	1	2,0	-	-	X	0,5
C_APA_G	-	1	-	1,5	-	X	0,7
C_APA_F	-	1	-	-	1,5	X	0,7

Quadro 4: Argamassas de cimento/cal hidráulica natural com fibras de acácia

Argamassa	Tipo de ligante		Percentagens de adição (%)
	CEM II/B-L 32,5N	NHL 3,5	
3C_RFA	X		-
3C_LFA	X		5
3C_HFA	X		10
3H_RFA		X	-
3H_LFA		X	3
3H_HFA		X	10

Seguidamente apresentam-se alguns dos resultados obtidos, nomeadamente, as características mecânicas de algumas das argamassas estudadas. Os resultados exaustivos de todas as campanhas realizadas podem ser consultados na bibliografia referida.

### Argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica vermelha

Nas Figuras 1, 2 e 3 apresentam-se os resultados obtidos para a resistência à flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade, para as argamassas de cal aérea com resíduos de tijolos, telhas e vasos.

Analisando os resultados obtidos, pode-se concluir que a introdução de resíduos levou, genericamente, ao aumento das resistências mecânicas, sendo este aumento tanto maior quanto maior é a quantidade de resíduos introduzida. Vê-se também que as argamassas com o resíduo integral registaram resistências mais elevadas do que aquelas em que se procedeu à separação dos resíduos de acordo com a sua granulometria (superior a 0,075mm e inferior a 0,075mm).

Quanto ao módulo de elasticidade, verifica-se que aumenta quando são introduzidos os resíduos na forma integral resultante da moagem (sem separação granulométrica), diminui ligeiramente para as argamassas com o resíduo com dimensão superior a 0.075mm e mantem-se praticamente constante para as argamassas com o pó de cerâmica. Estas variações poderão estar relacionadas com a

presença de material fino que, juntamente com outras partículas com distribuição granulométrica extensa, gera estruturas menos porosas, mais compactas e, conseqüentemente, mais resistentes.

De acordo com alguma bibliografia (Veiga; 2003), para argamassas de reabilitação, a resistência à flexão deve-se situar entre os 0,2 N/mm<sup>2</sup> e os 0,7N/mm<sup>2</sup>, a resistência à compressão entre os 0,4N/mm<sup>2</sup> e os 2,5N/mm<sup>2</sup> e o módulo de elasticidade entre os 2000N/mm<sup>2</sup> e os 5000N/mm<sup>2</sup>. Verificou-se que a utilização de frações separadas dos resíduos leva a uma redução significativa das resistências mecânicas e do módulo de elasticidade, tendo sido obtidos valores muito próximos ou abaixo dos limites mínimos apresentados, não havendo, tal como referido, qualquer vantagem nesta separação.

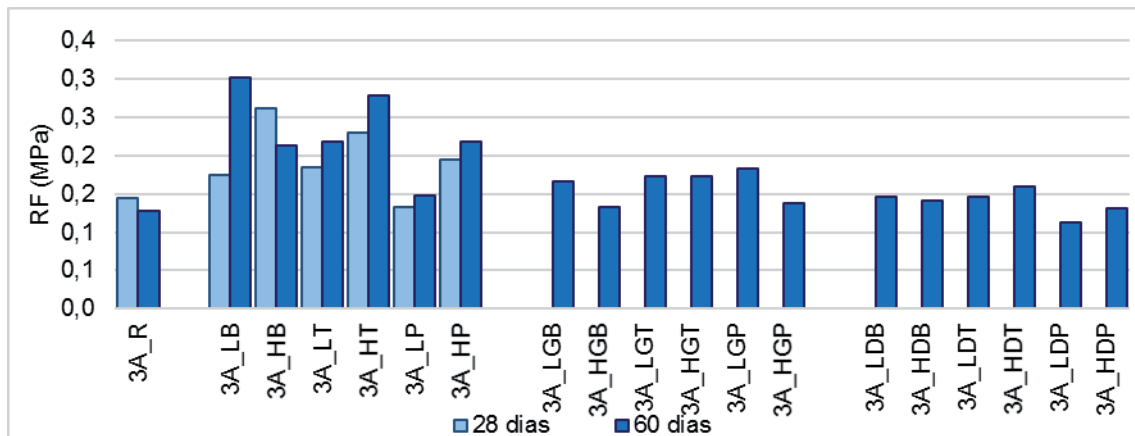


Figura 1: Resistência à flexão das argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica vermelha

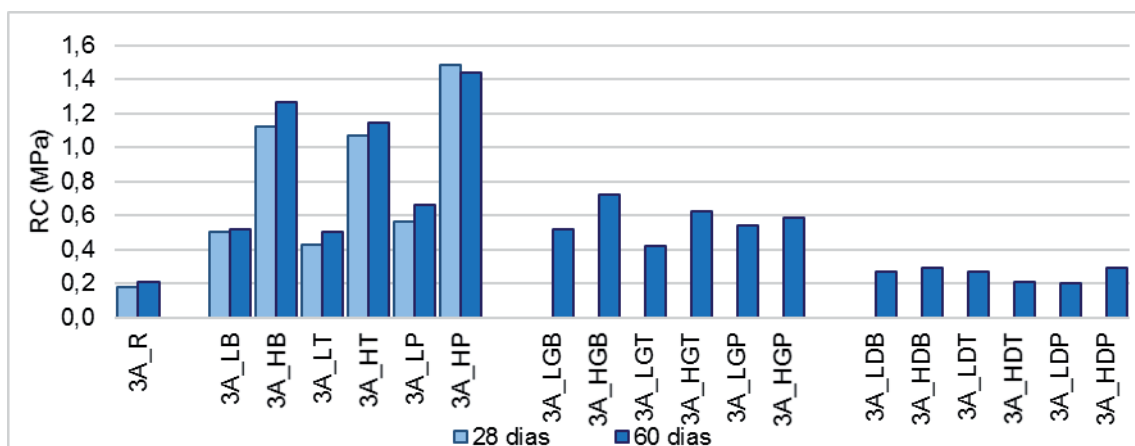


Figura 2: Resistência à compressão das argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica vermelha



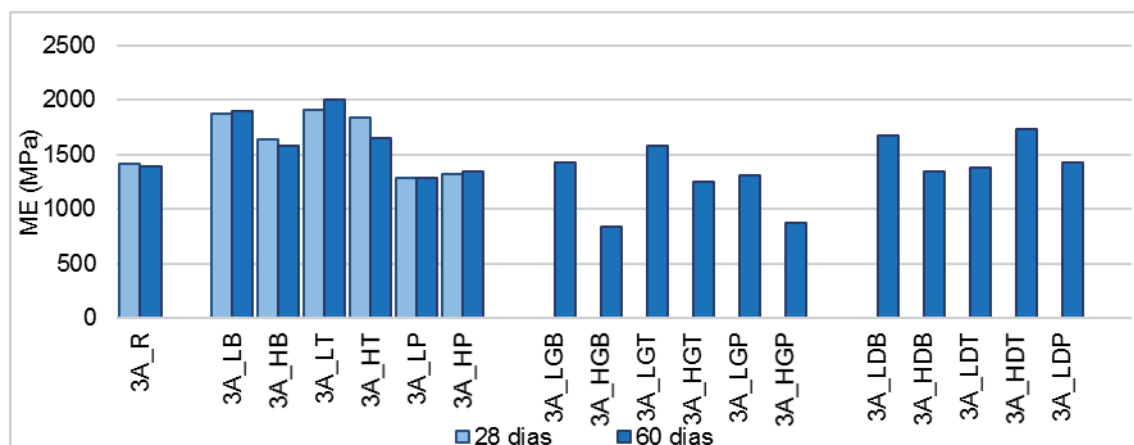


Figura 3: Módulo de elasticidade das argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica vermelha

### Argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de cerâmica vermelha e cerâmica branca

Seguidamente, nas Figuras 4, 5 e 6, apresentam-se os resultados para a resistência à flexão, resistência à compressão e módulo de elasticidade, para as argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de cerâmica vermelha e de cerâmica branca.

Após análise dos resultados, verificou-se que a introdução de resíduos de cerâmica nas argamassas de cal hidráulica natural se fez repercutir num aumento generalizado das resistências mecânicas e do módulo de elasticidade, sendo que este aumento foi mais significativo nas argamassas com resíduos de cerâmica vermelha, provenientes de tijolos, telhas e vasos decorativos. No caso do ladrilho, a variação das resistências mecânicas não é significativa. Observa-se ainda que o aumento da percentagem de resíduos introduzidos leva também ao aumento das resistências e do módulo de elasticidade.

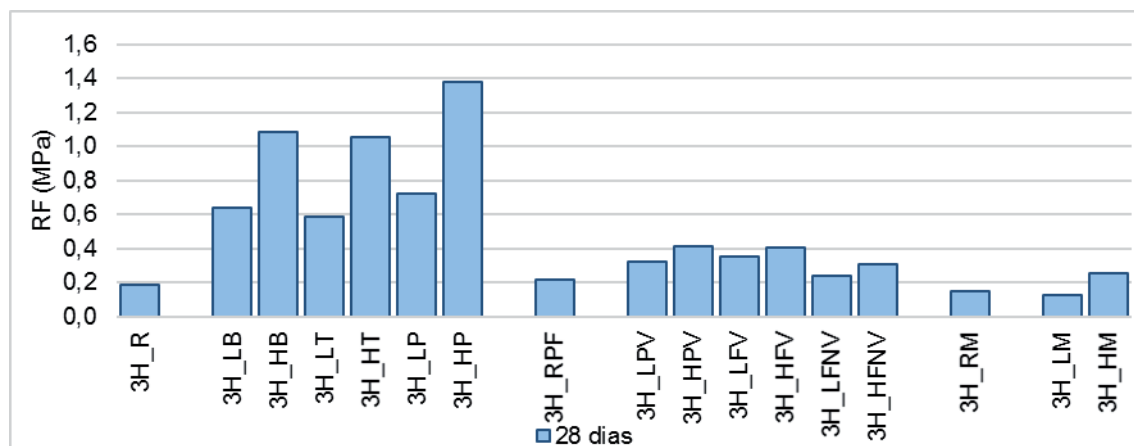


Figura 4: Resistência à flexão das argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de cerâmica vermelha e cerâmica branca



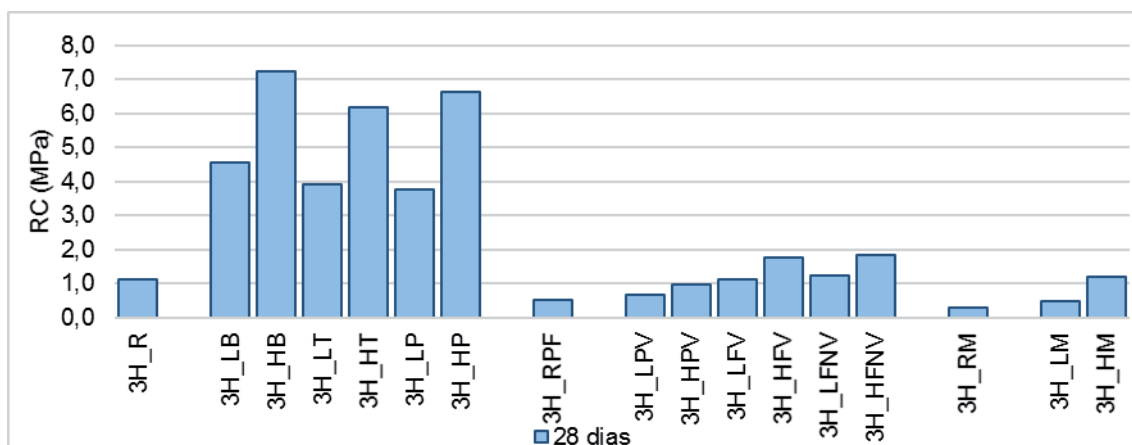


Figura 5: Resistência à compressão das argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de cerâmica vermelha e cerâmica branca

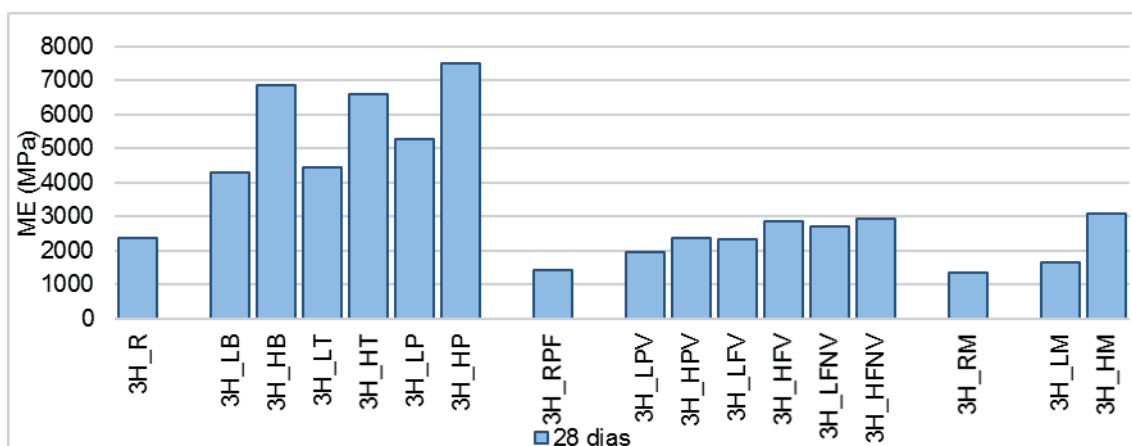


Figura 6: Módulo de elasticidade das argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de cerâmica vermelha e cerâmica branca

### Argamassas de cimento e de cal hidráulica natural com resíduos de casca ou palha de arroz e de fibra de acácia

As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados para a resistência à flexão e para a resistência à compressão das argamassas de cimento com introdução de resíduos de casca ou palha de arroz e de fibra de acácia.

Ao analisar os resultados obtidos para estes casos, verificou-se que o comportamento destas argamassas é bastante diferente das anteriores. Em alguns casos a introdução dos resíduos levou a uma redução significativa das resistências mecânicas. As únicas argamassas que apresentam resultados aceitáveis em termos de resistências mecânicas são as argamassas com introdução de casca de arroz. Estes são resultados expectáveis pois está-se a substituir grânulos de areia por elementos com fraca resistência mecânica como são a casca e a palha de arroz. Por outro lado, a interação dos materiais introduzidos com o ligante será mais fraca do que no caso da areia (ambos materiais inorgânicos). A forma das partículas e a composição química terão uma influência significativa no desempenho do conjunto, o que poderá justificar o desempenho aceitável da casca de arroz (partículas mais angulosas).

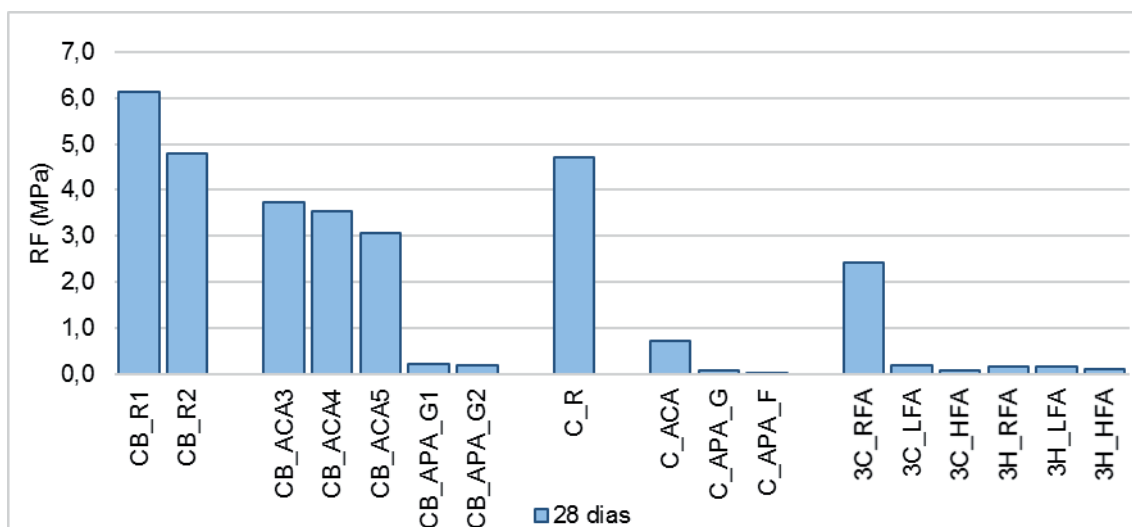


Figura 7: Resistência à flexão das argamassas de cimento e de cal hidráulica natural com resíduos de casca ou palha de arroz e de fibra de acácia

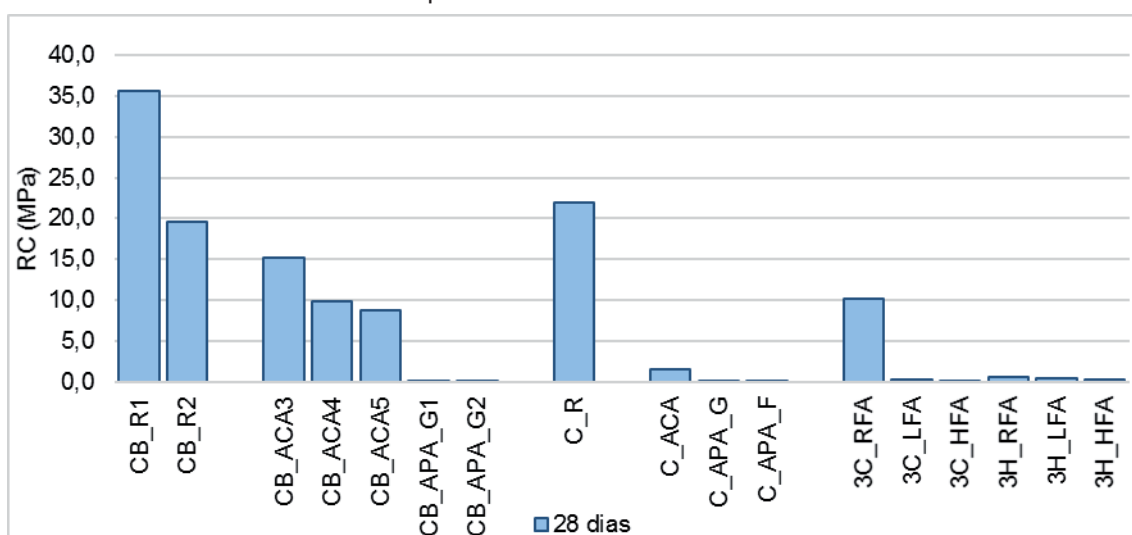


Figura 8: Resistência à compressão das argamassas de cimento e de cal hidráulica natural com resíduos de casca ou palha de arroz e de fibra de acácia

### Outros resultados anteriormente obtidos

Os resultados apresentados dizem apenas respeito às características mecânicas das argamassas analisadas. No entanto, e tal como referido, também foram determinadas algumas propriedades físicas. Para se proceder a uma análise mais correta das argamassas estudadas é importante referir, resumidamente, os resultados obtidos relativos ao seu comportamento higrotérmico.

Nas argamassas de cal aérea com introdução de resíduos de cerâmica vermelha observou-se que, para as argamassas com o resíduo integral e com o resíduo grosso, no geral ocorre um aumento do coeficiente de absorção de água, enquanto nas argamassas com pó de cerâmica não são observadas variações significativas. Verificou-se também uma diminuição da permeabilidade ao vapor de água com a introdução dos resíduos, no caso das argamassas com o resíduo integral e com o pó de cerâmica, e um ligeiro aumento no caso das restantes. O aumento no coeficiente de absorção de água e a diminuição da permeabilidade ao vapor inviabiliza a utilização direta destas argamassas na reabilitação de edifícios antigos, embora, como já foi referido, as suas características mecânicas sejam aceitáveis. Verificou-se, por isso, a necessidade de proceder a correções nas

formulações das argamassas, nomeadamente com a introdução de hidrófugos, até serem atingidos valores adequados.

No caso das argamassas de cal hidráulica natural com resíduos de cerâmica vermelha e cerâmica branca, o seu desempenho higrotérmico foi influenciado, sobretudo, pela origem dos resíduos. Enquanto nas argamassas com resíduos de cerâmica branca se observou um aumento do coeficiente de absorção de água com a introdução dos resíduos, para as argamassas com resíduos de cerâmica vermelha foi registada a redução deste parâmetro. As primeiras são as que apresentam valores do coeficiente de absorção mais elevados. No caso da permeabilidade ao vapor de água, a introdução de resíduos provocou a sua diminuição, exceto no caso da argamassa com introdução de 20% de mosaico.

Finalmente, para as argamassas de cimento e de cal hidráulica natural com resíduos de casca ou palha de arroz e de fibra de acácia, o coeficiente de absorção de água das argamassas com resíduos de arroz aumentou com a sua introdução, exceto no caso das argamassas de cimento com hidrofugante, como seria expectável. No caso das argamassas de cimento com introdução de fibras de acácia, verificou-se que este parâmetro diminuiu, enquanto no caso das argamassas de cal hidráulica natural não se detetou uma tendência definida. Quanto à permeabilidade ao vapor de água, a introdução dos resíduos levou sempre ao seu aumento.

Para as argamassas com introdução com casca e palha de arroz, o principal objetivo era obter uma argamassa com um comportamento térmico melhorado e, nesse sentido, foi determinado o coeficiente de condutibilidade térmica. Os resultados obtidos permitiram aferir que a introdução dos resíduos levou a uma melhoria significativa do comportamento térmico das argamassas.

## Conclusões

O trabalho desenvolvido é um processo moroso, que requer diversos estudos complementares, ainda em desenvolvimento. Contudo, os resultados obtidos até ao momento são encorajadores e será expectável alcançar composições concretas de argamassas adequadas aos diversos fins pretendidos.

No caso das argamassas de cal aérea e cal hidráulica natural com introdução de resíduos de cerâmica, estão em análise, neste momento, duas novas formulações (uma de cal aérea e uma de cal hidráulica natural), com introdução de resíduos cerâmicos, que se espera virem a apresentar valores mais ajustados aos requeridos para argamassas para reabilitação de edifícios.

Para as argamassas com incorporação de resíduos de casca e palha de arroz, e no sentido de obter novos produtos classificáveis como argamassas térmicas, segundo a norma de especificação EN 998-1:2010, foram obtidos resultados bastante promissores. Atualmente, uma das argamassas estudadas na segunda fase deste estudo tem já condições para ser classificada como argamassa térmica T2. Para as restantes composições, não foi ainda possível atingir esse patamar, mas espera-se que este objetivo seja alcançado em breve.

## Referências bibliográficas

ALBERTO, H., 2014 - **Argamassas de cal com incorporação de resíduos de cerâmica branca: estudo do seu comportamento**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, julho 2014.

BARBOSA, T., 2013 - **Comportamento de argamassas de cal aérea ao traço 1:2 com incorporação de resíduos cerâmicos**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, janeiro 2013.

CRUZ, A., 2012 - **Análise do comportamento higrotérmico de argamassas de cal aérea com resíduos cerâmicos**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, setembro 2012.

DUARTE, T., 2011 - **Comportamento mecânico de argamassas de cal com resíduos cerâmicos**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, julho de 2011.

EN 1015-11: 1999 - **Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar**. European Committee for Standardization, Brussels (CEN)

FERREIRA, T., 2011 - **Análise do comportamento higrotérmico de argamassas de cal aérea com resíduos cerâmicos**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, setembro de 2011.

FRÍAS, M. et al., 2012 - **Characterization and properties of blended cement matrices containing activated bamboo leaf wastes**. Cement & Concrete Composites 34: 1019–1023.

HWEE TAN, K.; DU, H., 2013 - **Use of waste glass as sand in mortar: Part I – Fresh, mechanical and durability properties**. Cement & Concrete Composites 35: 109–117.

LUIS, W., 2013 - **Estudo do desempenho, a curto e longo prazo, da incorporação de resíduos industriais nas composições de argamassa e betões de base cimentícia**, Tese de Mestrado, Instituto Politécnico de Setúbal, janeiro de 2013

MARTINS, T., 2015 - **Estudo do comportamento de argamassas com incorporação de casca de arroz**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, janeiro de 2015.

MATIAS, G., 2008 - **A influência de resíduos de tijolo no comportamento de argamassas de cal**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, julho de 2008.

MATIAS, G., 2015 - **Argamassas de reabilitação com incorporação de resíduos de cerâmica**, Tese de Doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, janeiro 2015.

MONTEIRO, M., 2015 - **Caracterização de argamassas com incorporação de resíduos de casca e palha de Arroz**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, julho 2015.

NP EN 14146: 2006 - **Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação do módulo de elasticidade dinâmico (através da medição da frequência de ressonância fundamental)**. Caparica: Instituto Português da Qualidade (IPQ).

NP EN 998-1:2013 - **Especificação de argamassas para alvenarias. Parte 1: Argamassas para rebocos interiores e exteriores**. Caparica: Instituto Português da Qualidade (IPQ).

OZKAN, O.; YUKZEL, I., 2008 - **Studies on mortars containing waste bottle glass and industrial by-products**. Construction & Building Materials 22: 1288–1298.

PEREIRA, D., 2015 - **Estudo de argamassas com incorporação de cerâmica branca**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, julho 2015.

RAIMUNDO, A., 2013 - **Argamassas de cal hidráulica natural com incorporação de resíduos de mosaico de barro vermelho**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, setembro 2013.

SILVA, H., 2012 - **Análise do comportamento de argamassas de cal aérea com resíduo de cerâmica em granulometria fina**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, janeiro 2012.

TOMÁS, A., 2012 - **Análise do comportamento de argamassas de cal aérea com resíduos de cerâmica em substituição de parte do agregado**, Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, julho de 2012.

VEIGA, M. R.; CARVALHO, F., 2003 - **Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos. Requisitos e características a respeitar**. Cadernos de Edifícios n.º 2. Lisboa: LNEC.

VIEIRA, T., 2013 – **Betões com incorporação de agregados finos reciclados cerâmicos**, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Lisboa, setembro de 2013.